

氏 名	木村 匡志
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	第 5460 号
学位授与年月日	平成 22 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項
学位論文名	Higher-Dimensional Black Holes with Twisted Extra-Dimensions (ひねられた余剰次元をもつ高次元ブラックホール)
論文審査委員	主 査 教 授 石原 秀樹 副 査 教 授 中尾 憲一 副 査 准教授 安井 幸則

論文内容の要旨

近年、我々の宇宙は高次元時空の中に埋め込まれた空間次元 3 次元の膜であるとするブレーンモデルが注目されている。その最大の理由は、ブレーンモデルに基づく現在稼動中の加速器実験で高次元ブラックホールが生成されることが予想されており、高次元の重力理論を実験的に検証できる可能性があるからである。

我々は、ブラックホールから離れた重力の弱い領域において、有効的に 4 次元時空と見なせるような高次元時空に興味があるため、そのような性質を持つ「余剰次元がコンパクトである高次元時空 (Kaluza-Klein 時空)」に着目する。従来の研究では Kaluza-Klein 時空として 4 次元時空と余剰次元の単なる直積で構成されるものが主に取り上げられてきた。しかし、Kaluza-Klein 時空の可能な位相構造にはまだ自由度が残されており、そのため我々の世界が様々な位相構造をとりうる可能性を考慮すべきである。そこで本論文では 4 次元方向と余剰次元方向がメビウスの輪のようにひねられた構造をもつ高次元時空に着目し、原理的には実験的に検証可能で特徴的な現象を発見することを目的とし高次元ブラックホールの研究を行った。得られた主な結果は以下の 3 つである。

(1) Kaluza-Klein ブラックホール時空の重力摂動に対する安定性解析

余剰次元がひねられていると、そうでない場合に比べて対称性が高くなるため解析が容易になることに着目し、Kaluza-Klein ブラックホールの重力摂動を調べ、安定であることの強い示唆を得た。時空の安定性は解が現実的に実現するために必要となる重要な性質である。

(2) 多体ブラックホールの位相構造

ひねられた余剰次元をもつ Kaluza-Klein 時空で多体のブラックホール解の厳密解を構成し、各ブラックホールの位相構造として、 S^3 だけでなく、レンズ空間も許されることを示した。つまり、余剰次元がひねられている場合にはブラックホールの位相構造というレベルで通常の場合との違いが現れうることがわかった。

(3) 合体する多体ブラックホールのダイナミクス

前述の多体ブラックホール解に宇宙項を入れることで、合体する多体ブラックホールを記述する厳密解を構成しその性質を調べた。通常、2 つの S^3 の位相構造をもつブラックホールが合体してできるブラックホールの位相構造は S^3 であるが、ひねられた余剰次元が存在すると、2 つの S^3 の位相構造をもつブラックホールが合体し、レンズ空間の位相構造をもつブラックホールとなるようなプロセスが可能となることを明らかにした。特徴的な事柄として、ブラックホールの合体に伴う面積の増加率が通常よりも大きいこともわかった。

論文審査の結果の要旨

近年、我々の宇宙は高次元時空の中に埋め込まれた空間次元 3 次元の膜であるとするブレーンモデルが注目され、高エネルギー実験による高次元ブラックホール生成によって、余剰次元の存在を検証する可能性が論じられている。

時空はミクロなスケールでは高次元時空であるが、実験的には、マクロなスケールでは有効的に 4 次元時空と見なせなければならない。時空がそのような性質をもつためには、余剰次元がコンパクトで、そのサイズが重力の実験スケールに比して十分小さい必要がある。そのような構造をもつ時空は Kaluza-Klein 時空とよばれる。従来の研究では 4 次元時空と余剰次元の直積構造をもつ Kaluza-Klein 時空が主に研究されてきた。本論では、一般に非自明なファイバー・バンドル構造をもつ、すなわち、

ひねられた余剰次元をもつKaluza-Klein時空に着目し、そこで様々な高次元ブラックホールについて厳密解を構成し、その性質を研究している。

第1章、第2章では、高次元ブラックホールを研究する動機と、これまでに知られている高次元ブラックホール解についての概観が述べられている。

第3章では、余剰次元がひねられた5次元ブラックホールの重力場の線形摂動が解析され、このブラックホールが安定であることの強い示唆を得ている。このことは、余剰次元がひねられた5次元ブラックホールが自然界に存在するための必要条件になっている。

第4章では、5次元 Einstein-Maxwell理論において、ひねられた余剰次元をもつKaluza-Klein時空の中に、多体のブラックホール解の厳密解を構成している。それぞれのブラックホールの位相構造として、3次元球面 (S^3) だけでなく、レンズ空間 (S^3/\mathbb{Z}_n) も許されることを示している。

第5章では、前章で構成した多体ブラックホール解に宇宙項を入れることで、合体する多体ブラックホールを記述する厳密解を構成し、その性質を調べている。漸近的に平坦な時空においては、 S^3 の位相構造をもつ2つのブラックホールが合体するとひとつの S^3 ブラックホールのができるが、ひねられた余剰次元が存在すると、2つの S^3 ブラックホールの合体によって、ひとつのレンズ空間のブラックホールが形成されるプロセスが可能となることを明らかにしている。

本論文では、ひねられた余剰次元をもつ高次元ブラックホールの厳密解を新しく構成し、その幾何学的な性質を明らかにしている。この研究結果は、高次元ブラックホールについて新しい知見を含むとともに、この分野の発展に大きく寄与するものと考えられる。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を授与されるに値するものと審査した。